

УДК 622.788

О.Ю. Худяков, Д.А. Ковальов, М.В. Ягольник
**ВПЛИВ ВМІСТУ БЕНТОНІТУ В СКЛАДІ ЗАЛІЗОРУДНИХ
ОКОТИШІВ НА КІНЕТИКУ ЇХ СУШКИ**

Анотація. У статті представлені результати досліджень, проведених з метою визначення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки. Вміст бентоніту змінювали в межах від 0,5% до 2%. Сушку окотишів здійснювали в ізотермічному режимі при температурах від 200 до 600°C. Отримані експериментальні дані були проаналізовані й узагальнені. Установлено характер впливу кількості добавок бентоніту на швидкість протікання процесу сушки залізорудних окотишів у зазначеному діапазоні температур.

У даній роботі представлені й проаналізовані результати серії експериментів, присвяченої дослідженню впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки в інтервалі температур від 200 °С до 600 °С.

Проблема і її зв'язок з науковими й практичними задачами. Застосування бентонітової глини як в'язучої речовини при виробництві залізорудних окотишів є загальноприйнятою практикою в металургійній промисловості. Незважаючи на деякі негативні моменти, пов'язані з використанням даного типу в'язучого [1], саме бентоніт є невід'ємним компонентом технологічної схеми виробництва окотишів.

З огляду на те, що сушка залізорудних окотишів є процесом, який має безпосередній вплив на збереження їхньої цілісності й, отже, лімітує подальший розвиток всієї наступної теплової обробки (нагрівання й випал) [2], безсумнівний практичний інтерес представляє дослідження впливу вмісту бентонітової глини в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки, що дозволить визначити основні закономірності видалення вологи з них і може бути корисним надалі при розробці й удосконаленні режимів сушки окотишів.

© Худяков О.Ю., Ковальов Д.А., Ягольник М.В., 2009

Аналіз досягнень і публікацій. Процес сушіння залізорудних окотишів всебічно проаналізований у ряді робіт, якими визначено основні закономірності процесів тепло- і масообміну, як усередині окотиша, так і з навколишнім середовищем [3,4]. Проте, питання впливу зміни компонентного складу окотишів на особливості протікання процесу їх сушки залишається недостатньо освітленим і вимагає ретельного аналізу в кожному конкретному випадку.

Постановка завдання. Метою даної роботи є вивчення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окотишів на кінетику їх сушки, в ізотермічному режимі, при різних температурах.

Виклад матеріалу й результати. Методика дослідження. Для зменшення ймовірної неточності результатів даного дослідження, в якості дослідного матеріалу, при проведенні експериментів, були використані не залізорудні окотиші, а брикети. Така заміна обумовлена можливістю збереження сталості заданих складу й щільності лабораторних брикетів, що у випадку виробництва окотишів являє собою певну складність. При виробництві залізорудних брикетів, завдяки високій точності дозування компонентів у кожному окремому брикеті, забезпечується чітке значення їх вологості і вмісту бентоніту, а сталість ваги зразків і тиску брикетування дозволяють підтримувати однаковими їх щільність і геометричні розміри, що, безумовно, позитивним чином впливає на чистоту проведених експериментів. Висновки, зроблені в результаті даного дослідження, справедливі рівною мірою для процесів сушки як брикетів, так і окотишів, оскільки різниця їхніх геометричних форм не спричиняє відмінностей у закономірностях протікання досліджуваного процесу.

У ході дослідження використовували шихти п'яти різних складів («а», «б», «в», «г», «д»), що відрізняються друг від друга вмістом бентоніту (табл. 1).

Змішування шихт здійснювали шляхом пошарового укладання матеріалів з наступним перемішуванням шарів між собою до досягнення повної гомогенізації маси шихти.

Одержання сирих брикетів відбувалося в лабораторних умовах на розривній машині МР-500, при тиску брикетування, рівному 282 кгс/бр. Вологість брикетів всіх п'яти складів була рівною 9,5%, а діаметр брикетів 15 мм.

Таблиця 1

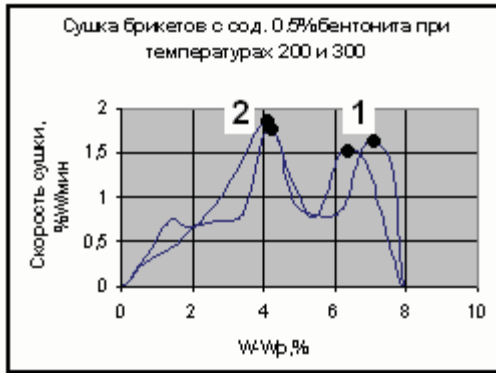
Компонентний склад шихт

	Вміст бентоніту, %	Вміст концентрату, %
Склад А	0,5	99,5
Склад Б	0,75	99,25
Склад В	1	99
Склад Г	1,5	98,5
Склад Д	2	98

Сушку брикетів проводили на експериментальній термогравиметричній установці. На цій установці вологі брикети в кошику, підвішеному до коромисла ваг, поміщали в робочий простір силітової печі, обладнаної термопарою, де підтримувалася незмінною задана температура, що дозволило здійснювати ізотермічну сушку брикетів. Температури сушки брикетів становили 200 °С, 300 °С, 400 °С, 500 °С і 600 °С.

В ході протікання процесу сушки, фіксували втрати маси брикетів у часі.

Обробка матеріалу й результати. При температурах сушки, рівних 200 °С і 300 °С, на кривій швидкості сушки чітко помітні два максимуми швидкості протікання процесу, позначені як точки 1, перший максимум, і 2, другий максимум (рис.1). Ділянка на кривій швидкості сушки від початкового моменту до першого максимуму, відповідає періоду прогріву брикету, при зростаючій швидкості видалення вологи. У цей час відбувається прогрів брикету від початкової температури до температури мокрого термометра та видалення вологи з його поверхні. Тривалість даного періоду становить від 2 до 4 хвилин. Тривалість цього періоду скорочується з ростом температури (так, при сушці брикетів із вмістом бентоніту 0,5%, вона склала 2,2 і 0,716 хвилин, для температур сушіння 200 °С і 300 °С, відповідно). Зміна вмісту бентоніту в брикетах при температурі сушки, рівній 200 °С, істотно не впливає на час протікання періоду прогріву. Однак, при підвищенні температури сушки до 300 °С, тривалість даного періоду, зі збільшенням масової частки бентоніту в складі брикетів, зростає від 0,716 хвилин (при вмісті бентоніту в брикетах 0,5%), до 3,83 хвилин (при вмісті бентоніту, рівному 1,5%).



1)

2)

Рисунок 1 - Криві швидкості сушки брикетів при температурах 200 °C і 300 °C із вмістом бентоніту : 1)- 0,5% ; 2) - 2%

Наступна ділянка на кривій швидкості сушки, обмежена першим і другим максимумами, характеризується значним падінням швидкості сушки. Найбільш імовірною причиною описаного характеру кривої варто вважати відсутність фільтрації нагрітого повітря в ході проведення експериментів, внаслідок чого, за час протікання періоду прогріву, повітряний простір навколо брикетів встигає значно насититися парами води. Протягом описуваного другого періоду все тепло, яке підводиться до брикету, витрачається на випар вологи й температура брикету залишається постійною, при цьому фронт випару усередину брикету не заглиблюється. До кінця даного періоду брикет втрачає приблизно половину всієї видаляємої вологи, при цьому критична точка переходу до наступного періоду, практично не міняється зі зміною вмісту бентоніту й ростом температури (при температурах сушіння 200°C і 300 °C, Wкр. складала: для брикетів із вмістом бентоніту 0,5% - 4,11% і 4,13% , а для брикетів із вмістом бентоніту 2% - 4,0 % і 4,03 % , відповідно). Тривалість даного періоду приблизно дорівнює попередньому періоду прогріву, збільшується з підвищенням вмісту бентоніту, і коливається при температурах сушіння 200°C і 300 °C від 1,85 і 2,22 хвилин, для вмісту бентоніту в брикетах 0,5% , до 5,87 і 3,83 хвилин, для вмісту бентоніту 1,5% .

Третя ділянка на кривій швидкості від другого максимуму до початку координат, відповідає періоду падаючої швидкості сушки матеріалу. Протягом цього періоду відбувається просування фронту сушки вглиб брикету, зростання його температури, видалення тієї

частини капілярної вологи (із дрібних капілярів), що залишилася і адсорбційно зв'язаної вологи. Середня швидкість видалення вологи в цьому періоді підвищується із ростом температури й падає зі збільшенням вмісту бентоніту.

На рис.2 зображені криві швидкості сушки брикетів всіх п'яти складів при температурах сушки 400 °С, 500 °С і 600°С. Наведені графіки можна розділити на два типи: ті, на яких після періоду прогріву, при зростаючій швидкості сушки, з'являється період, який можна класифікувати, як період постійної швидкості сушки, і ті, на яких за періодом прогріву відразу починається період падаючої швидкості сушки. Яскравим прикладом кривої швидкості сушки першої групи є графіки, що відповідають сушці брикетів із вмістом бентоніту 0,5% при температурах 400 °С, 500 °С і 600°С. Прикладом графіків другої групи служать криві швидкості сушки брикетів із вмістом бентоніту 1% і 1,5% при температурі 600°С. Причина спостережуваного переходу періоду зростаючої швидкості сушки відразу в період падаючої швидкості для кривих другої групи може полягати в тому, що вміст вологи брикетів, у такому випадку, після періоду прогріву менше, ніж критичний вологовміст, який відповідає переходу періоду постійної швидкості сушки в період падаючої швидкості. Протягом періоду зростаючої швидкості сушки, для другої групи, імовірно, відбувається прогрів води в капілярах, і послідує випаровування капілярної вологи з поверхні окотиша, та, можливо, зсередини його. У ході періоду падаючої швидкості - поглиблення фронту сушки, прогрів висушених областей брикету й видалення вологи, що залишилася.

Загальна тривалість протікання процесу сушки в зазначеному діапазоні температур зростає зі збільшенням вмісту бентоніту в брикетах (табл.2).

Загалом дослідження показали, що зі збільшенням вмісту бентоніту в брикетах, швидкість їх сушки неминуче знижується. Так, з підвищенням вмісту бентоніту в брикетах з 0,5% до 2%, при температурі сушки, рівній 200°С, швидкість сушки знижується на 31,9%, а при такому ж підвищенні вмісту бентоніту й температурі сушки 600°С – на 37,4%. При температурах сушки 300, 400 і 500°С (зрівняємо знову сушку брикетів із вмістом бентоніту 0,5% і 2%), швидкість процесу зменшується трохи менш інтенсивно – на 28,26%,

19,33% і 14,42 %, відповідно. Дані, що відображують вплив кількості бентоніту в залізорудних окатишах на швидкість їх сушки при температурах від 200°C до 600°C, наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Залежність часу сушки від вмісту бентоніту в брикетах

Температура сушки, °С	Вміст бентоніту, %				
	0,5	0,75	1	1,5	2
	Час сушки, хв.				
400 °С	4,8	6	7,03	7,5	6
500 °С	4,1	5,4	5,6	5,8	5,5
600 °С	2,3	5,6	5,5	4,16	6,25

Приведена закономірність пояснюється таким чином. Основним складовим бентонітових глин є мінерал монтморілоніт [5], специфічність кристалічної решітки якого обумовлює здатність бентоніту диспергувати і набухати, всмоктуючи іноді більш ніж десятикратні кількості води [6]. Набрякання монтморілоніту носить переважно внутрішньо кристалічний характер, і волога, у вигляді прошарків між високодисперсними частками глини, які утворюють просторову сітку, утримується молекулярними (ван-дер-ваальсовими) силами тяжіння, тобто є адсорбційно зв'язаною вологою [7]. Енергія зв'язку адсорбційної води ($3,47 \cdot 10^{10}$ ерг/моль) значно перевищує енергію зв'язку капілярної води (від $5,3 \cdot 10^3$ до $5,3 \cdot 10^8$) [8], тому природно, що збільшення вмісту адсорбційно зв'язаної води утруднює процес видалення води й знижує швидкість сушки брикетів.



1)



2)



3)



4)



5)

Рисунок 2 - Криві швидкості сушки брикетів при температурах 400 °С, 500 °С і 600 °С з вмістом бентоніту: 1) – 0,5%, 2) – 0,75%, 3) – 1%, 4) – 1,5%, 5) – 2%; буквами на графіках позначені температури сушки: а - 400 °С, б - 500 °С, в - 600 °С

Таблиця 3

Залежність швидкості сушіння від змісту бентоніту в брикетах

Температура сушки, °С	Вміст бентоніту, %				
	0,5	0,75	1	1,5	2
	Швидкість сушки, % W/хв.				
200°С	0,9199	0,5844	0,423	0,4678	0,6265
300°С	1,0447	1,0771	0,6932	0,7408	0,7494
400°С	2,4322	2,3	2,2747	1,7623	1,962
500°С	2,5988	2,51	2,6884	2,3346	2,172
600°С	3,8668	2,9678	2,9915	2,9778	2,4206

Висновки. Проведено дослідження, з метою визначення впливу вмісту бентоніту в складі залізорудних окатишів на кінетичні особливості протікання процесу їх сушки в ізотермічному режимі при температурах від 200°C до 600°C. Кількість бентоніту змінювалася від 0,5% до 2%. Установлено, що у всьому діапазоні температур сушки, збільшення вмісту бентоніту приводить до значного зниження швидкості процесу сушки. Зазначене зниження найбільше яскраво проявляється при температурах 200,300, і 600°C. При температурах сушки 400°C, і особливо 500°C, зменшення швидкості сушки менш істотне, і, отже, можлива сушка залізорудних окатишів, що містять значні кількості бентоніту, з меншою шкодою для швидкості протікання процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Юсфин Ю.С., Базилевич Т.Н. Обжиг железорудных окатышей.- М.: Металлургия, 1973, 272 с.
2. Интенсификация процесса сушки окатышей на обжиговых конвейерных машинах / Абзалов В.М., Солодухин А.А., Неволин В.Н. и др.// Сталь.2006.№6. с.28-30.
3. Берман Ю.А. Основные закономерности производства окатышей.- Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1991.- 184с.
4. Братчиков С.Г., Берман Ю.А., Белоцерковский Я.Л., Бабошин В.М., Майзель Г.М. Теплотехника окускования железорудного сырья.- М.: Металлургия, 1970.-344с.
5. Минералогический состав бентонитовых глин главных месторождений Украины / Коваленко Д.Н. // «Бентонитовые глины Украины», сб.2.- Изд-во АН УССР, 1958. с.23-42.
6. Ручкин И.Е. Производство железорудных окатышей. - М.: Металлургия, 1976.-184с.
7. Витюгин В.М., Докучаев П.Н.- «Информация ин-та «Черметинформация», 1968, сер.3, вып.10. с.2-10.
8. Лыков А.В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1968.-472с.